

Artículo original

Simulación del retraso en la transmisión de datos en una red celular debido al *Handoff*

Simulation of delay in data transmission in a cellular network due to Handoff

Luis Alejandro Fletscher, M.Sc.

luis.fletscher@udea.edu.co

Carlos Andrés Sarmiento, M.Sc(c)

88sarmiento@gmail.com

Grupo de Investigación en Bioinstrumentación
e Ingeniería Clínica [GIBIC]

Universidad de Antioquia - UDEA.

Medellín, Colombia

Fecha de recepción: Octubre 22 de 2013

Fecha de aceptación: Diciembre 11 de 2013

Palabras clave

Redes celulares; simulación
numérica; tecnologías
inalámbricas y vehiculares.

Keywords

Cellular networks; numerical
simulation; vehicular and
wireless technologies.

Colciencias  1

Investigación financiada por la
Universidad de Antioquia, UdeA,
(SOS11-2-01 Estrategia de Sostenibilidad
2011-2012)

Research supported by Universidad de
Antioquia, UdeA. (SOS11-2-01 Estrategia
de Sostenibilidad 2011-2012)

Resumen

El presente artículo presenta el resultado de la simulación numérica del efecto de la velocidad de un dispositivo móvil en el retraso de la transmisión de datos en una red celular debido a *Handoff*. La generación del código y realización de las simulaciones se hizo por medio del entorno integrado de desarrollo Matlab. Como resultado se analizaron las respuestas del sistema de red celular al variar los parámetros de velocidad del dispositivo móvil y tiempo de realización de la prueba, y se obtuvo un modelo del sistema planteado que permite determinar el retraso en función de estos dos parámetros.

Abstract

This paper presents the outputs of numerical simulation of the effect of a mobile device's speed in delay of data transmission in a cellular network, because of Handoff. Code generation and simulations was done using Matlab's development environment. As a result, the responses of cellular network system by varying the parameters of mobile speed and time of completion of the test were analysed, and a model of the proposed system for determining the delay based on these two parameters was obtained.

I. Introducción

En la actualidad el uso de redes celulares para la transmisión de datos en aplicaciones como telemetría se ha extendido considerablemente, lo cual está relacionado con el aumento de la cobertura y la mejora continua en las prestaciones de los dispositivos móviles y las tecnologías de comunicación, en cuanto a interacción y capacidad de transmisión y recepción de datos (Radio & Zhang, 2012). En este contexto, las aplicaciones en telemedicina resultan favorecidas, ya que haciendo uso de redes inalámbricas celulares se facilita el diseño de sistemas que permitan una mayor transmisión de información clínica y envío de señales biomédicas a largas distancias, desde sitios remotos, incluso durante movimiento, lo que favorece un mayor acceso a la prestación del servicios de salud y por ende genera una mejor calidad de vida.

De esta manera, grandes avances en el área de la salud, y de la telemetría en general, han podido llevarse a cabo por medio del uso de dispositivos móviles o la creación de nuevos sistemas con capacidad de comunicación celular a partir de la adición de módulos de comunicación a desarrollos electrónicos embebidos en el campo de redes de sensores o sistemas de control (Radio & Zhang, 2012; Qiao & Koutsakis, 2009; Miaou & Huang, 2001; Istepanian, Woodward, & Richards, 2001). Sin embargo, el uso de esta tecnología contempla errores, debido, principalmente, a la posible contaminación de la información, el impredecible retardo y la fluctuación de la disponibilidad de la red, producto de la naturaleza no determinista de acceso al medio inalámbrico, aspectos que necesitan ser evaluados antes de poder realizar una aplicación que requiera una transmisión de datos de forma segura.

En este artículo se evaluó el comportamiento de la comunicación celular en cuanto al retraso total producido por *Handoff* en función de la velocidad del dispositivo móvil durante diferentes intervalos de tiempo, utilizando para ello simulaciones numéricas. Este trabajo hace parte de un macroproyecto de telemonitorización que busca transmitir de forma inalámbrica la información clínica de los pacientes desde una ambulancia al centro de salud destino, por lo que es importante evaluar la influencia de la velocidad del dispositivo móvil en la transmisión de datos y los retrasos que se pueden producir. Como resultado de la evaluación planteada se obtuvo un modelo que permite determinar el tiempo total de retraso en la transición de datos de un dispositivo móvil en función de su velocidad y el tiempo de transición. El modelo obtenido puede considerarse una herramienta para la determinación de aspectos de diseño como la capacidad de almacenamiento, el protocolo de comunicación a ser implementado, las limitaciones de funcionamiento en tiempo real, entre otras, para el desarrollo de aplicaciones de telemedicina que contemplen el uso de transmisión de datos por redes celulares.

El artículo está compuesto por un marco teórico en donde se exponen los principales

conceptos de redes celulares usados; la metodología empleada para la simulación que comprende aspectos como condiciones y características de esta; los resultados obtenidos y las conclusiones.

II. Estado del arte

A pesar de que hasta la fecha el retraso por Handoff ha sido un aspecto de las telecomunicaciones ampliamente estudiado, la mayoría de los trabajos desarrollados en este tema no evalúan a fondo el efecto sobre el retraso o las interrupciones en la transmisión de datos ocasionadas por comportamientos en cuanto a velocidad y desplazamiento en una red celular durante diferentes periodos de tiempo. Uno de estudios consultados fue el realizado por Ulukus y Pollini (1998), el cual plantea el desarrollo de una expresión que permite determinar el retraso por *Handoff* en función de las distancias entre estaciones base y dispositivo móvil, considerando que este último se mueve en línea recta a una velocidad constante. Dicho trabajo tiene como base un comportamiento del dispositivo móvil muy simplificado, lo que ocasiona que los resultados obtenidos con la expresión obtenida difieran considerablemente de la realidad, dado que parten de unas consideraciones muy simplificadas. Por otro lado, el trabajo desarrollado por Lin (1997) propone un modelo estadístico que permite determinar la probabilidad de que el retardo por solicitud de *Handoff* sea mayor al tiempo definido de espera, antes de que se caiga la llamada, tomando como aspecto relacionado con la velocidad del móvil, variaciones del tiempo de permanencia de este en una celda. De esta forma, aunque la evaluación del tiempo de permanencia del móvil en una celda introduce al modelo obtenido un comportamiento más real, en cuanto a velocidad, la evaluación de este aspecto y del comportamiento en cuanto a desplazamiento del móvil sigue siendo muy simplificada. Otros trabajos como el de Emmelmann (2005), tienen en cuenta la influencia de la velocidad del dispositivo móvil en el retraso por *Handoff*, pero su trabajo se enfoca más en los algoritmos para realizar *Handoff* que en el análisis de la relación entre la velocidad y desplazamiento del móvil.

III. Marco teórico

A continuación se explican algunos de los conceptos de redes de comunicación celular usados para la simulación:

A) Probabilidad de bloqueo de llamada

En función del comportamiento estadístico de los usuarios en cuanto a la duración y solicitud de las llamadas, el número de canales disponibles y ciertas características del sistema de truncado, se puede determinar la probabilidad de que a un usuario se le bloquee la llamada, lo que generalmente se conoce como probabilidad de bloqueo, que es una medida de la capacidad de servicio en un sistema de truncado (Tranter, Shanmugan, Rappaport, & Kosbar, 2003). La probabilidad de que una llamada sea bloqueada está dada por la fórmula de *Erlang B*, que relaciona el número de canales truncados C y el tráfico A (ver Ecuación 1).

$$P_{Bloqueo} = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_0^C \frac{A^K}{K!}}$$

B) Proceso de Handoff

Cuando una llamada está en progreso, la movilidad del usuario puede inducir la necesidad de cambiar de celda servidora, en particular cuando la calidad de la transmisión cae por debajo de un umbral predefinido. Al proceso de transferencia automática de comunicación en progreso de una celda a otra para evitar los efectos adversos de los movimientos del usuario se le llama *Handoff* (Goldsmith, 2005).

Este proceso requiere medios para detectar la necesidad de cambiar de celda de una forma que no sea apreciable para el usuario, normalmente basada en el nivel de potencia de la señal detectada por el dispositivo móvil.

C) Modelos de movilidad

Un modelo de movilidad es una representación matemática que trata de predecir, con el fin de acercarse a la realidad, los movimientos de un objeto o una persona. En el caso de una red de comunicación celular, permite describir el patrón de movimiento de los usuarios móviles y cómo su ubicación, velocidad y aceleración cambian con el tiempo (Bai & Helmy, 2008).

Existen diferentes modelos de movilidad, clasificados como aleatorios, con dependencia temporal, espacial o con restricciones geográficas, los cuales son implementados en simulaciones con el fin de evaluar protocolos de comunicación (Bai & Helmy, 2008). La determinación del modelo de movilidad a implementar depende de las características que deseen ser simuladas, de tal forma que el resultado permita predecir de manera adecuada el rendimiento de un protocolo bajo condiciones reales (Prabhakaran & Sankar, 2006).

El Modelo de movilidad de *Gauss Markov* fue diseñado para adaptarse a varios niveles de aleatoriedad por medio del ajuste de un parámetro α (Hernández & Ortiz, 2011) y puede clasificarse como un modelo de movilidad con dependencia temporal (Bai & Helmy, 2008). Al nodo inicialmente se le asigna una velocidad y dirección, y a intervalos fijos de tiempo t dichos valores se modifican como resultado de un cálculo que depende de los valores de velocidad y dirección en el tiempo $t-1$ como muestran las Ecuaciones 2 y 3:

$$s_t = \alpha s_{t-1} + (1 - \alpha)s + \sqrt{(1 - \alpha^2)}sx_{t-1}$$

$$d_t = \alpha d_{t-1} + (1 - \alpha)d + \sqrt{(1 - \alpha^2)}dx_{t-1}$$

Donde s_t y d_t son los nuevos valores de velocidad y ángulo en el tiempo t , α es el parámetro de ajuste para variar la aleatoriedad ($0 \leq \alpha \leq 1$), s y d son valores constantes que representan el valor medio de la velocidad y el ángulo, y $s x_{t-1}$ y $d x_{t-1}$ son variables aleatorias con una distribución normal estándar. Para un valor de $\alpha=0$ se obtiene un movimiento totalmente aleatorio, para $\alpha=1$ un movimiento totalmente lineal, y para valores de α entre 0 y 1 un movimiento semi-aleatorio.

IV. Simulación

A) Descripción

La simulación realizada consistió en evaluar el comportamiento de un modelo de red de comunicación celular en el que se encuentra un dispositivo móvil desplazándose a una velocidad máxima definida, con el fin de determinar, en un periodo de tiempo, el retraso total en la comunicación debida al proceso de Handoff y al bloqueo de llamada que puede ocurrir en dicho proceso.

Los intervalos de tiempo entre avances del dispositivo están dados por la duración del retraso por Handoff y determina una realización o instantánea de la simulación. En cada instantánea se determina la posición en la que se encuentra el dispositivo móvil con respecto a la estación base con el fin de determinar si debe realizar o no Handoff por haber salido de la celda y si hay o no bloqueo de llamada, generando un retraso.

Con el fin de generar resultados estadísticamente válidos, cada simulación se realizó un millón de veces, obteniendo un valor de retraso acumulado promedio. Además, se implementó el modelo de movilidad de Gauss Markov con el objetivo de que la simulación considere diferentes niveles de aleatoriedad de movimiento.

B) Características y consideraciones

Para la simulación se tuvo en cuenta variaciones aleatorias de tamaños de celda con distribución uniforme, variaciones de parámetro de aleatoriedad α entre 0 y 1 con distribución uniforme, probabilidad de bloqueo de llamada y tiempo de retraso por Handoff. Además se tomaron las siguientes consideraciones:

- » Al inicio de la simulación el dispositivo móvil se encuentra ubicado en el centro de la celda.
- » Las variaciones del parámetro de aleatoriedad α se dan cada vez que empieza una nueva simulación.
- » Las variaciones del tamaño de celda se dan cuando el dispositivo realiza Handoff y están dadas en términos de su radio, tomando como posibles valores 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 Km.
- » Las variaciones de ángulo entre instantáneas para el dispositivo móvil se dan entre 0° y 360° .
- » El tiempo de cambio de la velocidad y ángulo del móvil se estableció de 1 segundo.
- » La celda se simuló con una geometría circular, con la estación base en el centro.

- » Se supone que el Handoff se realiza por hardware, y la determinación de realizar o no Handoff depende de si la posición del móvil está dentro o fuera de la celda.
- » Las antenas en la simulación se suponen omnidireccionales.
- » Todas las celdas tienen igual probabilidad de bloqueo.
- » El tiempo de retraso por Handoff permanece constante durante toda la simulación.
- » Cuando hay bloqueo la llamada, esta es borrada.

C) Procedimiento

El objetivo de la simulación era analizar el comportamiento del retraso en la comunicación del dispositivo móvil variando su velocidad y el tiempo total de prueba. De acuerdo con lo anterior se realizaron 36 pruebas en las que se establecieron velocidades de 5, 10, 20, 40, 60 y 100 Km/h, como valores máximos, y tiempos de prueba de 5, 10, 20, 40 y 60 minutos, dejando constantes los valores de tiempo de retraso por Handoff (100ms) y probabilidad de bloqueo (2%).

Como se mencionó, inicialmente se determina el tamaño de la celda de forma aleatoria con distribución uniforme, ubicando el dispositivo móvil en el centro y asignándole una velocidad inicial igual al valor máximo de velocidad seleccionada y un ángulo inicial de 0°. Al cabo del tiempo definido de Handoff el dispositivo se desplaza de acuerdo con el ángulo y la velocidad definidos y se evalúa si aún sigue dentro del área de la celda.

Cada segundo se modifica el ángulo y la velocidad del dispositivo de acuerdo con las formulas definidas para el modelo de movilidad aplicado, de tal forma que en el momento en que el móvil se encuentra por fuera del área de la celda, se selecciona aleatoriamente de manera uniforme una nueva área, se modifica la velocidad y el ángulo del móvil del mismo modo descrito anteriormente y se ubica este a una distancia del centro de la celda dada por el radio interno de esta menos el avance del dispositivo para el ángulo y velocidad establecidos.

Todo el procedimiento descrito se realiza durante el tiempo de simulación definido y se repite para cada nueva simulación.

La Figura 1 muestra una serie de instantáneas desde el inicio, en donde el móvil empieza ubicado en el centro de la celda hasta que alcanza el límite de esta, en cuyo caso debe realizar el proceso de Handoff y cambiar de celda, repitiendo nuevamente el proceso hasta que se vuelve a alcanzar el límite de la celda, como se muestra en la Figura 2.

V. Resultados

A continuación se muestran las gráficas obtenidas para cada resultado de retraso promedio respecto del tiempo de la prueba y la velocidad del móvil:

A) Retraso promedio en función del tiempo de prueba

Como se puede apreciar en la Figura 3, el retraso promedio tiende a aumentar de forma aproximadamente lineal conforme aumenta el tiempo de prueba para cada velocidad definida, lo que permite evidenciar que, entre mayor tiempo de recorrido del dispositivo

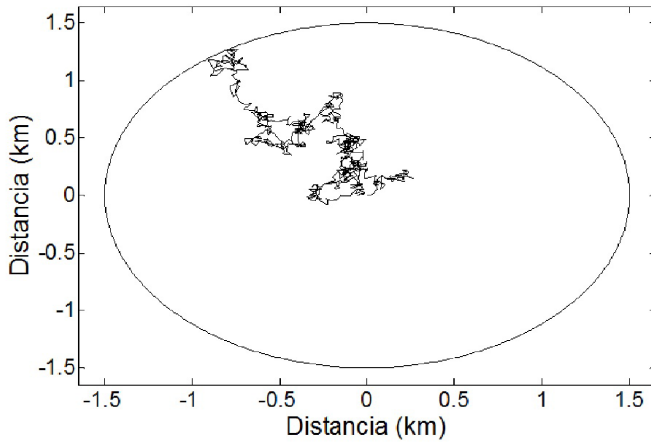


Figura 1. Realizaciones para simulación desde el inicio

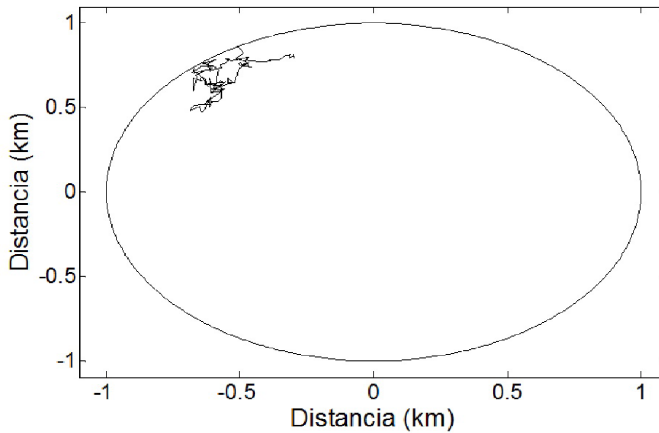


Figura 2. Realizaciones para simulación después de haber cambiado una vez de celda.

móvil, mayor es el retraso acumulado que se presenta en la comunicación. También se observa que para valores de velocidades altas los retrasos son más significativos, aunque para las condiciones de simulación establecidas el máximo retraso promedio no supera 350 milisegundos, valor de tiempo que puede considerarse pequeño teniendo en cuenta que equivale aproximadamente a tres veces el tiempo de retraso por Handoff establecido, pero que en aplicaciones que requieren transmisión de datos en tiempo real puede resultar representativo, ya que requieren tiempos de retraso bastante limitados y son muy sensibles a interrupciones (Lin, 2003; Li, Member, Chen, & Agrawal, 2005).

B) Retraso promedio en función de la velocidad del móvil

Los resultados de retraso promedio en función de la velocidad del dispositivo móvil para todos los tiempos de prueba exhiben una tendencia de crecimiento parabólico como se observa en la Figura 4, lo cual indica que la relación entre estos parámetros puede ser modelada por medio de ecuaciones cuadráticas

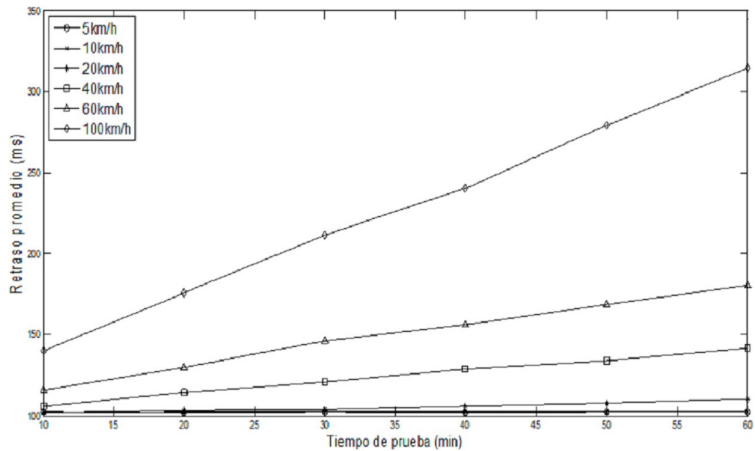


Figura 3. Retraso promedio en función del tiempo de prueba para cada velocidad

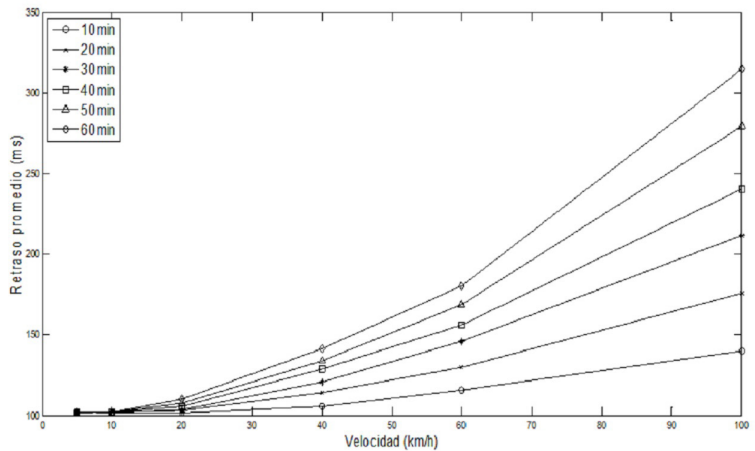


Figura 4. Retraso promedio en función de la velocidad del móvil

C. Modelo del tiempo de retraso promedio

Al analizar los gráficos anteriores se observan tendencias similares del tiempo de retraso que permiten establecer las Ecuaciones 4 y 5 para modelar de forma aproximada su comportamiento en función de la velocidad del móvil y el tiempo de prueba:

$$R_{prom} = m * tp + 100$$

$$m = 0,0003vm^2 + 0.0049vm - 0.0408$$

Donde R_{prom} es el retraso promedio en milisegundos, tp es el tiempo de prueba en minutos, vm es la velocidad del móvil en km/h, y m es el valor que relaciona el retraso promedio con la velocidad del móvil.

D) Evaluación del modelo

Con el fin de evaluar las ecuaciones obtenidas, se repitieron todas las simulaciones bajo las mismas condiciones y se calculó, para cada velocidad y tiempo de prueba, el error promedio de tiempo de retraso. La Figura 5 ilustra el porcentaje de error obtenido para el tiempo de retraso en cada parámetro evaluado.

Los porcentajes de error obtenidos para el tiempo de retraso al aplicar las formulas planteadas no superan bajo ninguna condición de tiempo de prueba o velocidad un valor de 0.5%, lo que permite considerar que el modelo obtenido es bastante preciso, al menos para las condiciones de simulación planteadas. También cabe notar que las formulas obtenidas tienen un mejor comportamiento en cuanto a la precisión de los resultados a velocidades y tiempos de prueba menores.

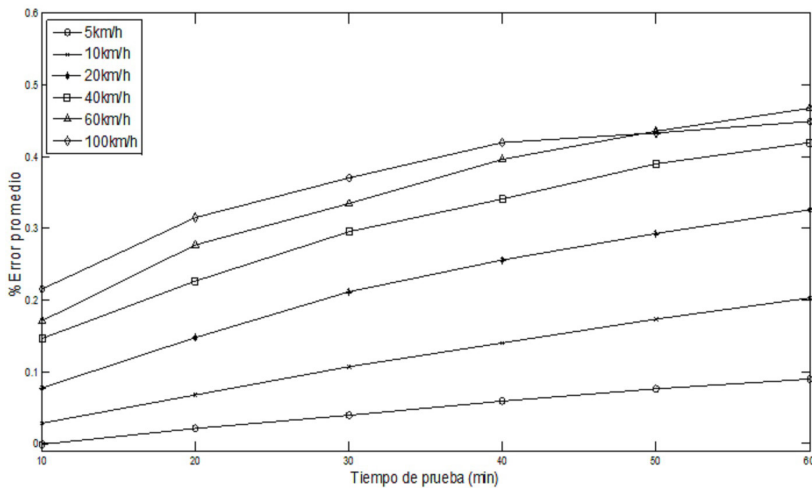


Figura 5. Porcentaje de error obtenido de tiempo de retraso

Conclusiones

El tiempo de retraso en la comunicación es un parámetro importante a la hora de seleccionar la tecnología de comunicación inalámbrica a implementar en una aplicación de telemetría, especialmente en aplicaciones biomédicas de telemedicina, donde el tiempo transmisión de la señal es un factor determinante en cuanto al diagnóstico y el tratamiento de un paciente. Dicho parámetro debe ser considerado en las primeras etapas del diseño teniendo claro la tasa de datos a recibir o transmitir (bps), la cantidad de tiempo durante la que se llevará a cabo la transmisión y la movilidad que tendrá el dispositivo móvil.

De esta forma, dado que el tiempo de retraso total está relacionado con la cantidad de información que puede no alcanzar a ser transmitida –y por ello, en el peor de los casos debería permanecer almacenada–, dicho valor permite determinar la necesidad

y capacidad de una memoria de almacenamiento masivo en un desarrollo.

De acuerdo con lo anterior, aunque los resultados fueron determinados a partir de condiciones específicas que, dependiendo de la aplicación, pueden resultar inadecuadas o limitadas, el modelo obtenido puede implementarse como una primera aproximación en el diseño de sistemas de telemedicina donde el conocimiento del retraso en la comunicación sea un factor importante.

De los resultados obtenidos puede concluirse que sistemas cuya velocidad es considerablemente alta, deben estar más restringidos en tiempo de transmisión de datos, ya que desarrollos que funcionen bajo estas condiciones serán más afectados en cuanto a retrasos.

En total pudo observarse que los tiempos de retraso máximos no fueron muy altos tanto para sistemas de velocidades altas o bajas en comparación con el tiempo de *Handoff* definido, aunque es un aspecto que verdaderamente depende de la aplicación específica, ya que en función de la cantidad de información a transmitir o recibir y la velocidad de transmisión de datos, puede ser recomendable usar un algoritmo de compresión de información.

Dado que la probabilidad de bloqueo de llamada puede estar relacionada con el retraso en la comunicación, de los resultados obtenidos, se pudo corroborar que a mayor velocidad de cambio de posición del móvil, al pasar de celda a celda, hay una mayor probabilidad de bloqueo de llamada.^{SR}

Referencias bibliográficas

- Bai, F., & Helmy, A. (2008, julio 13). A survey of mobility models in wireless adhoc networks [en línea, Florida University Web Site]. Recuperado de <http://www.cise.ufl.edu/~helmy/papers/Survey-Mobility-Chapter-1.pdf>
- Emmelmann, M. (2005). Influence of velocity on the handover delay associated with a radio-signal-measurement-based handover decision. En VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference, 2005. (Vol. 4, pp. 2282–2286). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/VETEcf.2005.1558955
- Goldsmith, A. (2005). Wireless communications. Cambridge, UK: Cambridge University. doi:10.1017/CBO9780511841224
- Hernández, G., & Ortiz, J.E. (2011, October 13). Cálculo de algunas medidas estadísticas para evaluar el desempeño de redes Ad Hoc. Ingeniería y Competitividad, 8(1), 15–21. Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/1602>
- Istepanian, R.S.H., Woodward, B., & Richards, C.I. (2001). Advances in telemedicine using mobile. Engineering in Medicine and Biology Society, 4, 3556–3558
- Li, W., Member, S., Chen, H., & Agrawal, D.P. (2005). Performance analysis of handoff schemes with preemptive and

- non preemptive channel borrowing in Integrated Wireless Cellular Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 4(3), 1222–1233
- Lin, C.E. (2003). A real-time remote control architecture using mobile communication. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 52(4), 997–1003. doi:10.1109/TIM.2003.814813
- Lin, Y. (1997). Impact of PCS handoff response time. *IEEE Communications Letters*, 1(6), 160–162
- Miaou, S., & Huang, C. (2001). A next-generation mobile telemedicine testbed based on 3G cellular standard. En *Computers in Cardiology 2001*, (V.2, pp.683–686). Piscataway, NJ: IEEE
- Prabhakaran, P. & Sankar, R. (2006). Impact of realistic mobility models on wireless networks performance. *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, 2006. [WiMob'2006], (pp. 329–334). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/WIMOB.2006.1696343
- Qiao, L. & Koutsakis, P. (2009). Fair and efficient scheduling for telemedicine traffic transmission over wireless cellular networks. *VTC Spring 2009 - IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, (pp. 1–5). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/VETECS.2009.5073552
- Radio, N., & Zhang, Y. (2012). Next-generation applications on cellular networks: trends, challenges, and solutions. *Proceedings of the IEEE*, 100(4), 841–854
- Tranter, W., Shanmugan, K., Rappaport, T., & Kosbar, K. (2003). *Principles of communication systems simulation with wireless applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
- Ulukus, S. & Pollini, G. (1998). Handover delay in cellular wireless systems. En 1998. *ICC 98. Communications 1998 [ICC'98]*, *IEEE International Conference on, Conference Record*. (V.3, pp.1370–1374). Piscataway, NJ: IEEE

Curriculum vitae

Carlos Andrés Sarmiento Pérez

Nació en Medellín, Antioquia (Colombia) el 13 de Julio de 1988. Se graduó del programa de Bioingeniería de la Universidad de Antioquia y actualmente es estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Electrónica. Pertenece al Grupo de Investigación en Bioinstrumentación e Ingeniería Clínica [GIBIC] y se desempeña como profesor del curso de Informática I para el Programa de Bioingeniería de la Universidad de Antioquia.

Luis Alejandro Fletscher Bocanega

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, Especialista en Gerencia de Proyectos de Telecomunicaciones de la Universidad del Rosario (Colombia). Posee una Maestría en Ingeniería, Área Telecomunicaciones, de la Universidad Pontificia Bolivariana (Colombia) y otra en Tecnologías de la Información y Telemáticas Avanzadas de la Universidad de Murcia (España). Actualmente se desempeña como profesor asistente del Programa Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad de Antioquia. Entre sus campos de interés se encuentran la Gestión de la Movilidad en Redes Heterogéneas (Hetnets) y los nuevos modelos de Gestión de Tecnología.